



УДК 539.2

УСТРОЙСТВО ПЕРЬЕВОЙ ЛИТОГРАФИИ

А.Ю. Алейников, В.С. Захвалинский

Белгородский государственный университет,
ул. Победы, 85, Белгород, 308007, Россия.

Аннотация. Сконструировано лабораторное устройство перьевой литографии на основе сканера оригинальной конструкции. Работа сканера основана на управлении деформацией биметаллических пластин под воздействием нагрева или охлаждения. В качестве источника теплового воздействия использовались элементы Пельтье.

Разработана электрическая схема, принципиальный макет и программное обеспечение. Изготовлен работающий макет устройства перьевой литографии, управляемый с ноутбука через USB порт.

Ключевые слова: перьевая литография, туннельная микроскопия, электрическая схема, микроконтроллер, модуль Пельтье.

1. Введение. Сразу несколько тенденций развития современной науки и высокотехнологичных производств стимулируют развитие новых методов создания нано и микрорельефа на поверхности твёрдого тела. Основной предпосылкой можно считать то, что закономерность развития микроэлектроники сформулированная 40 лет назад одним из основателей фирмы Intel Гордоном Муром (закон Мура) и заключающаяся в том, что быстродействие компьютеров (связанное с числом элементов на микросхеме) должно удваиваться каждые 18 месяцев без существенного изменения цены, перестала выполняться. О невыполнении закона Мура, заявил сам Гордон Мур в 2007 году [1]. Ещё одной предпосылкой стимулировавшей развитие нанотехнологий в целом было появление приборов контроля и исследования нанообъектов в 80-х годах прошлого века. Бурное развитие туннельной, атомно-силовой и электронной микроскопии и некоторых других методов создало предпосылки для исследований в этом направлении. Проблемы в развитии электроники дали толчок развитию новых направлений связанных с поиском новых материалов и новых элементов электроники работающих на физических принципах отличных от принципов традиционной электроники. В числе этих новых направлений нанoeлектроника, одноэлектроника, фотоника, спинтроника и др. Развитие этих направлений вплотную зависит от использования сложных и высокотехнологичных и чаще всего дорогих устройств. Технологические линии электронной промышленности и крупных исследовательских центров, базирующиеся на процессах литографии, молекулярно-лучевой и газофазной эпитаксии, основаны на дорогом и сложном оборудовании. Соображения гигиены установок и чистоты эксперимента не позволяют легко переходить с одного объекта исследования на другой. А при переходе в субмикронный

диапазон сложность и стоимость эксперимента резко возрастают. В 1990 году Дон Айглер и Эрхард Швайцер, работавшие в исследовательском центре ИВМ в Калифорнии, использовали сканирующий туннельный микроскоп для перемещения по металлической поверхности индивидуальных атомов [2]. Это было потрясающей демонстрацией новых технологических возможностей туннельного микроскопа. Буквы ИВМ, были написаны на никелевой поверхности 35 атомами ксенона.

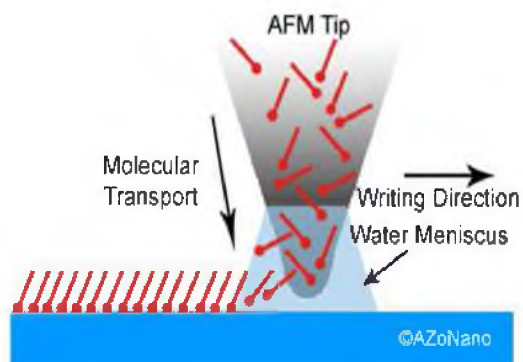


Рис. 1. Схематическая диаграмма, показывающая, как перьевая литография работает, на примере использования кантелевера атомно-силового микроскопа [3].

В настоящее время технологические процессы, которые можно отнести к перьевой литографии, основаны в основном на использовании сканирующих туннельных и атомно-силовых микроскопов. Использование кантелевера атомно-силового микроскопа для создания наноразмерных объектов на поверхности продемонстрировано на рис. 1.

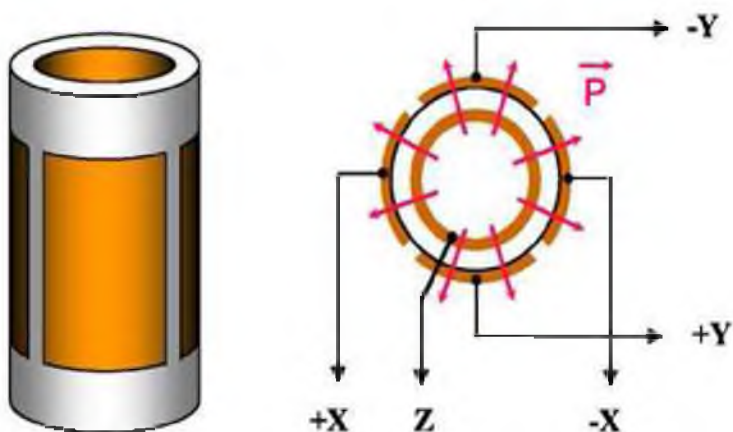


Рис. 2. Трубчатый пьезосканер [4].

В качестве основного узла ответственного за перемещение сканирующего острия иглы по осям (x, y, z) в большинстве приборов этого типа используются пьезокерамические



преобразователи. Наиболее распространённая конструкция пьезокерамического преобразователя представлена на рис. 2 (более подробно см. [4]). На этом рисунке приведен общий вид и схема расположения трубчатого сканера имеющего радиальную поляризацию пьезокерамики.

Внутренний электрод сплошной, внешний же разделён на четыре секции. На противоположные участки трубки подают противофазные напряжения. В том месте, где направление поля совпадает с направлением поляризации происходит сокращение, а там где вектор поляризации и электрическое поле противоположны происходит удлинение сектора трубки. Это обеспечивает движение по X и Y. Изменение потенциала внутреннего электрода по отношению ко всем внешним даёт перемещение по оси Z. Реальные пьезосканеры иногда имеют более сложную конструкцию.

Избыточные функции и максимальное разрешение оказываются не востребуемыми при многих поисковых исследовательских работах, а высокая цена сужает круг пользователей. Таким образом, актуальной задачей является изготовление дешёвого и доступного к использованию студентами и аспирантами устройства по созданию нано- и микрорельефа новых приборных структур для электроники. Таким прибором может стать дешёвое устройство перьевой литографии, созданию прототипа которого посвящена настоящая статья.

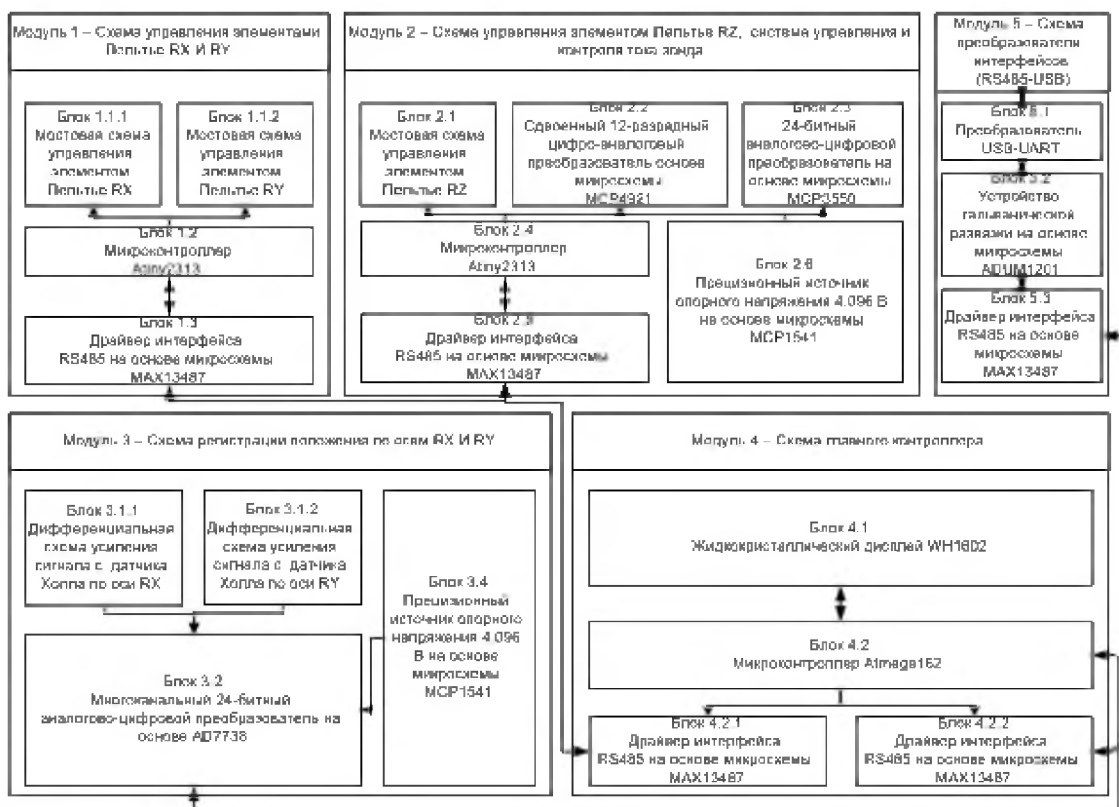


Рис. 3. Блок-схема устройства перьевой литографии.

2. Эксперимент. В основу создания своего устройства перьевой литографии мы положили оригинальную конструкцию узла сканера, перемещающего подложку по осям (x,y,z) . Устройство перьевой литографии функционально состоит из 5 основных модулей (рис. 3).

Исполнительные модули Пельтье, отвечающие за перемещения зонда радиально по оси RX и оси RY управляются схемой модуля 1. Модуль 1 – функционально законченное изделие, состоящее из микроконтроллера (блок 1.2), получающего команды извне по заданному протоколу обмена по интерфейсу RS485 через драйвер интерфейса (блок 1.3) и формирующее биполярное (посредством мостовой схемы – блок 1.1.1 и 1.1.2) широтно-модулированное импульсное напряжение, подаваемое непосредственно через ограничительное сопротивление на соответствующий модуль Пельтье. При этом полярность напряжения, как следствие нагрев/охлаждение плоскости элемента и деформация биметаллической пластины контролируется схемой главного контроллера (модуль 4). За поднятие/опускание зонда вдоль оси RZ , а также за задание и контроль проходящего через зонд тока отвечает модуль 2. Он состоит из мостовой схемы (блок 2.1), сдвоенного цифро-аналогового преобразователя (блок 2.2), непосредственно подающего напряжение заданной полярности и амплитуды на зонд относительно подложки и 24-битного аналогово-цифрового преобразователя, осуществляющего измерение тока через зонд.

Для работы АЦП и ЦАП используют опорное напряжение от прецизионного источника (блок 2.6). Низкоуровневое управление ЦАП и АЦП осуществляется посредством микроконтроллера (блок 2.4). Связь со схемой главного контроллера осуществляется по интерфейсу RS485 посредством драйвера (блок 2.5.) За регистрацию положения зонда вдоль оси RX и предметного столика вдоль оси RY отвечает модуль 3. В качестве датчиков положения по оси RX и RY используются датчики, работающие на эффекте Холла. Низковольтные сигналы с соответствующих датчиков Холла усиливаются дифференциальными схемами усиления [5] (блок 3.1.1 и блок 3.1.2). Далее сигналы оцифровываются с использованием многоканального аналогово-цифрового преобразователя (блок 3.2).

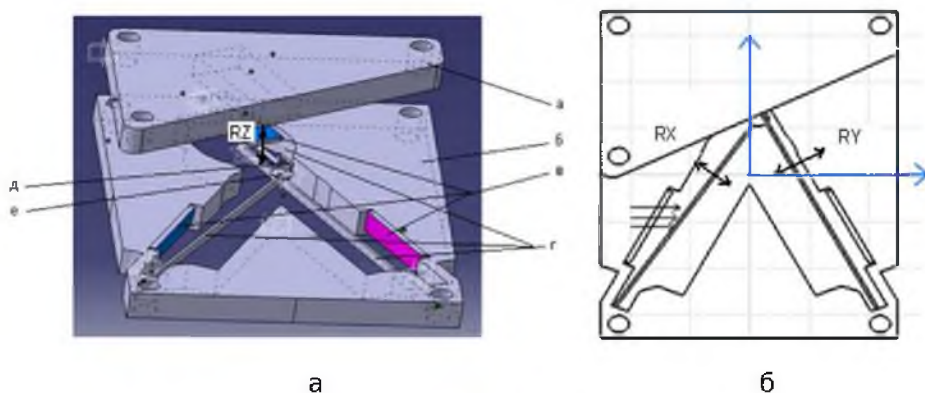


Рис. 4. Механическая конструкция основного блока в устройстве перьевой литографии (а – общий вид, б – вид сверху).

Для работы АЦП используется источник опорного напряжения (блок 3.4). Режимы работы модуля непосредственно управляет схема главного контроллера по интерфейсу SPI. За управление работой основных модулей отвечает модуль 4 главного контроллера. Основным логическим элементом схемы является микроконтроллер Atmega162. Отображение информации о текущих координатах зонда и подложки, а также вольт-амперные характеристики зонда и другие сервисные параметры отображаются с использованием двухстрочного жидкокристаллического дисплея (блок 4.1).

Микроконтроллер имеет два UART интерфейса. Один, в совокупности с драйвером (блок 4.2.1), используется для управления модулями 1 и 2, а другой, в совокупности с драйвером (блок 4.2.2), используется для связи с компьютером посредством модуля 5. Внешний вид основной механической части устройства перьевого литографии приведен на рис. 4.

Конструкция состоит из следующих основных элементов: а) верхняя крышка; б) основание; в) модули Пельтье; г) биметаллические пластины, активируемые модулями Пельтье; д) конструкция зонда; е) конструкция предметного столика. В качестве модуля Пельтье было использовано серийно выпускаемое изделие МТЕС101710, размерами 15x15 мм, разрезанное на три части вдоль последовательно соединенных компонентов Пельтье. В исходном варианте оно рассчитано на питание от источника током 10 А и напряжением 2 В.

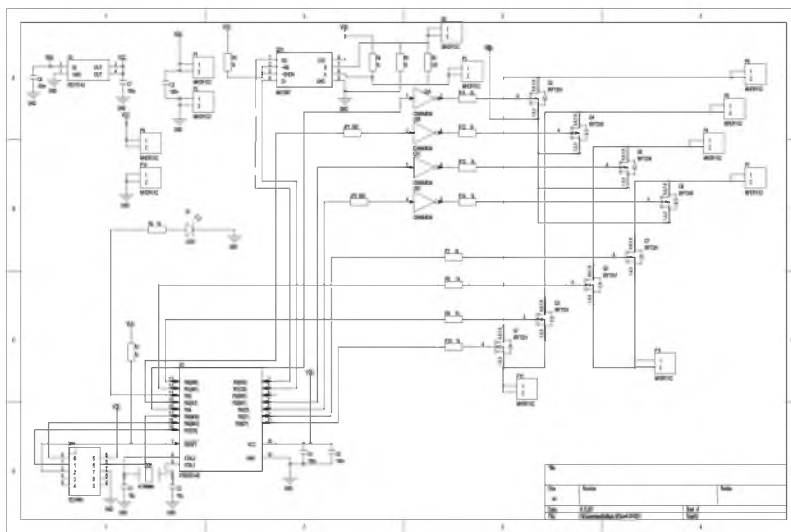


Рис. 5. Принципиальная электрическая схема модуля 1.

Полученные модули были закреплены с использованием клея kosmofen (Германия) в пазах основания из дюрала (было вырезано на фрезерном станке с ЧПУ Eng-Pro BD800). Напротив каждого модуля были размещены три биметаллические пластины, непосредственно связанные с предметным столиком (перемещение столика вдоль оси RX) и зондом (перемещение зонда вдоль оси RY и перемещение зонда вдоль оси RZ). При подаче на Модуль Пельтье, расположенный напротив соответствующей биметаллической пластины управляющего широтно-модулированного импульсного сигнала заданной полярности с электронной части схемы производится нагрев (охлаждение) по-

следней. Пластины обратимо деформируются и перемещают зонд и предметный столик относительно друг друга. Перемещение контролируется по изменению воздействия магнитного поля, создаваемого постоянными магнитами, закрепленными на биметаллических пластинах, и воздействующими на датчики Холла.

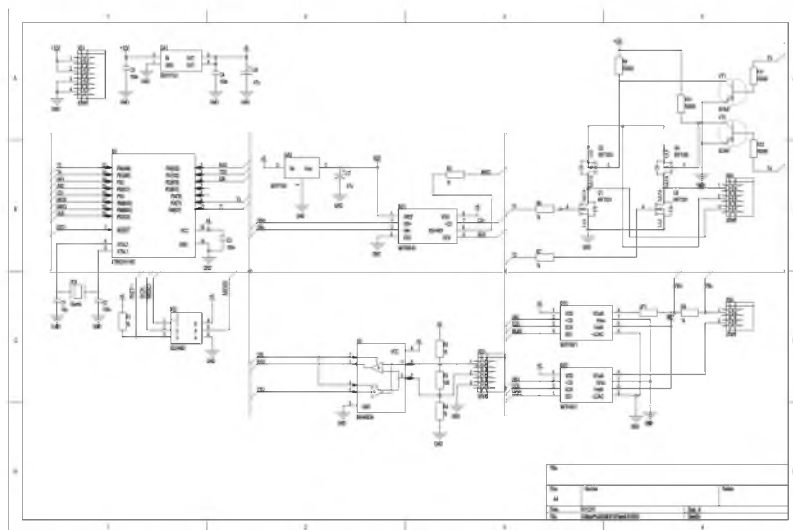


Рис. 6. Принципиальная электрическая схема модуля 2.

Предполагается использовать настоящее устройство в двух технологических режимах: нанесение рельефа и травление поверхности. В режиме нанесения рельефа игла перемещается по поверхности полупроводниковой подложки в мениске водного или спиртового раствора солей наносимого химического элемента. Контролируя ток зонда и скорость перемещения в растворе стандартной концентрации можно реализовать рельеф заданной топологии. Минимальные размеры регламентированы площадью иглы, расстоянием до поверхности подложки и скоростью процесса. В режиме травления игла зонда передвигается над поверхностью пленки. Направление тока обеспечивает удаление атомов тонкой пленки в точке наибольшей напряженности электрического поля. Для обеспечения ионной проводимости используется раствор электролита.

Процесс создания топологического рельефа может быть использован как элемент технологического процесса для нанесения на поверхность микро- и квантово-размерных объектов, представляющих собой сложные химические соединения. Для этого возможно проведение следующим технологическим этапом длительных отжига в вакууме или газовых средах с целью проведения химической реакции и перекристаллизации. Принципиальная электрическая схема модуля управления элементами Пельтье RX и RY (модуль 1) приведена на рис. 5.

На транзисторах Q1-Q8 собраны мостовые схемы, позволяющие генерировать широко-модулированный биполярный сигнал для соответствующих модулей Пельтье (RX и RY). Режимы генерации управляет 8-битный микроконтроллер U1. Связь с главным контроллером осуществляется через драйвер DD1 интерфейса RS485. Принципиальная электрическая схема модуля управления элементом Пельтье RZ, система управления и контроля тока зонда приведены на рис. 6.

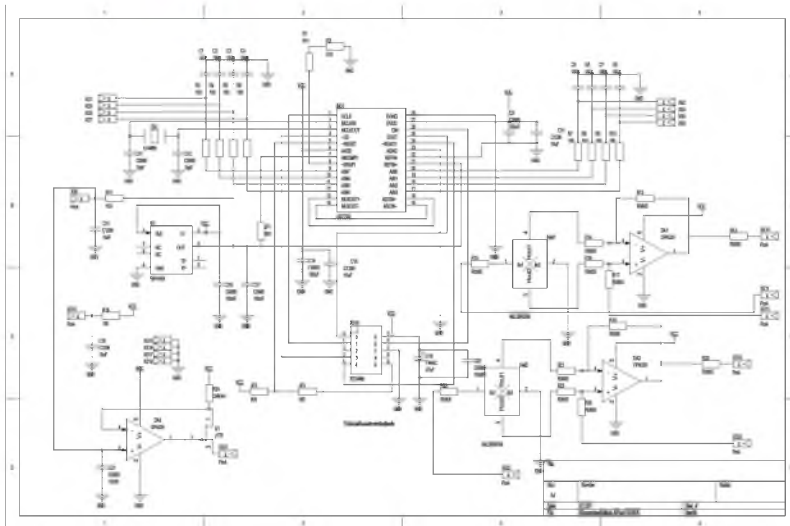


Рис. 7. Принципиальная электрическая схема модуля 3.

На транзисторах Q1-Q4 собрана мостовая схема, позволяющая генерировать широтно-модулированный биполярный сигнал для модуля Пельтье (оси RZ). Регистрацию сигнала тока через зонд выполняет 24-битный АЦП (DD1). На элементах DD2 и DD3 выполнен сдвоенный ЦАП, позволяющий подавать на зонд биполярное напряжение с максимальной амплитудой 4.096 В через токоограничивающий резистор R9. Принципиальная электрическая схема модуля регистрации положения по осям RX и RY приведена на рис. 7.

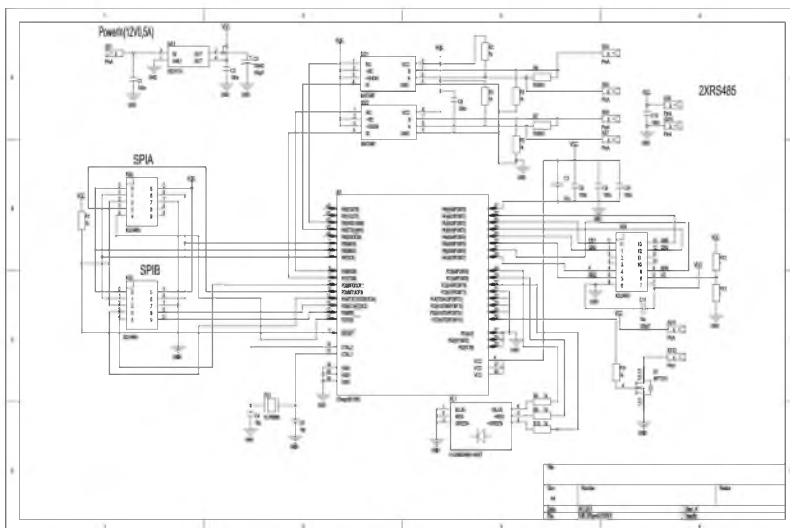


Рис. 8. Принципиальная электрическая схема модуля 4.

На элементах DA1 и DA2 собраны типовые схемы дифференциального усиления сигналов с датчиков Холла. (для обеих осей RX и RY). Усиленные сигналы с обоих датчиков Холла подаются на многоканальный АЦП DD1.

Принципиальная электрическая схема модуля главного контроллера приведена на рис. 8.

В качестве управляющего контроллера используется восьмибитный микроконтроллер U1. Посредством разъема XS8 схема соединяется с жидкокристаллическим дисплеем. Принципиальная электрическая схема модуля преобразователя интерфейсов приведена на рис. 9.

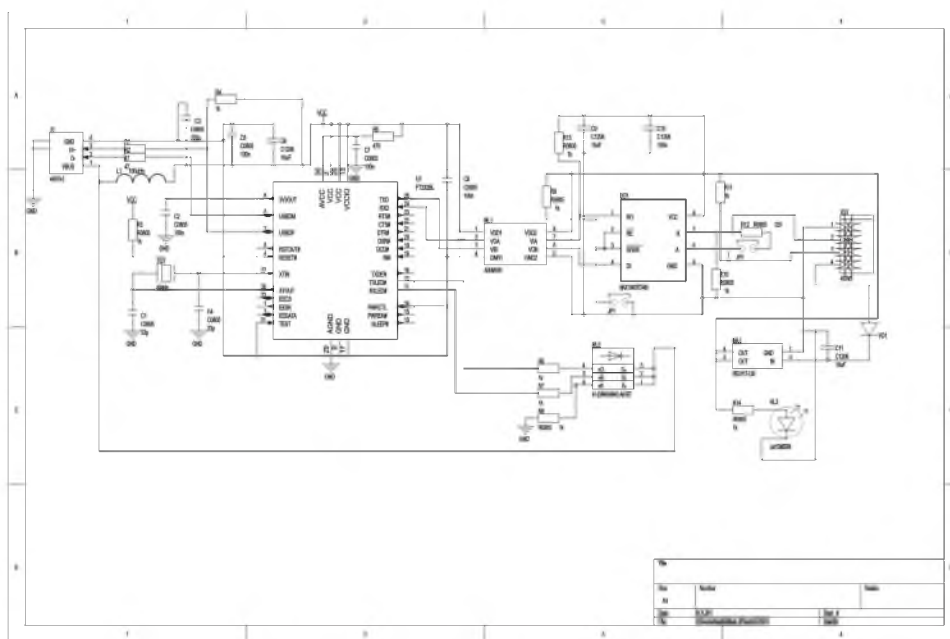




Рис. 10. Внешний вид макета устройства перьевой литографии.

Литература

1. Рыбалкина М. Нанотехнологии для всех. Большое в малом / 2011. – www.nanonewsnet.ru. – 436 с.
2. Eigler D.M., Schwelzer E.K. Positioning single atoms with a scanning tunneling microscope // Nature. – 1990. – 344. – P.524.
3. Khalid Salaita, Yuhuang Wang, Chad A. Mirkin // Nature Nanotechnology. – 2007. – 2. – P.145.
4. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии / Нижний Новгород: РАН Институт физики микроструктур, 2004. – 114 с.
5. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники, т.1, т.2 / М.: Мир, 1998. – 700 с.

PEN-TIP LITHOGRAPHY DEVICE

A.Yu. Aleynikov, V.S. Zakhvalinsky

Belgorod State University,
Pobedy St., 85, Belgorod, 308015, Russia,

Abstract. Laboratory device for pen-tip lithography based on the original design has been constructed. The design operation is based on the control of bimetallic plates deformation under influence of heating or cooling. Peltier's elements were used as some sources of heat action.

Schematic diagram and software were developed. Experimental model of pen-tip lithography installation controlled via the laptop USB port has been designed.

Key words: pen-tip lithography, tunneling microscopy, schematic diagram, Peltier element, microcontroller.